

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-144326  
 (43)Date of publication of application : 25.05.2001

(51)Int.Cl.

H01L 33/00

G11B 7/125

G11B 7/22

H01S 5/343

(21)Application number : 2000-171342

(71)Applicant : SHARP CORP

(22)Date of filing : 07.06.2000

(72)Inventor : YAMAZAKI YUKIO  
ITO SHIGETOSHI

(30)Priority

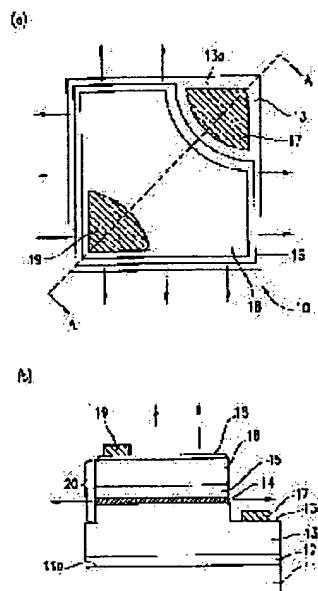
Priority number : 11246791 Priority date : 31.08.1999 Priority country : JP

## (54) SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING DEVICE, DISPLAY DEVICE AND OPTICAL DATA REPRODUCING DEVICE PROVIDED WITH THE SAME, AND METHOD OF MANUFACTURING SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING DEVICE

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a semiconductor light-emitting device which is superior in light extraction performance.

SOLUTION: A GaN buffer layer 12, an n-type GaN contact layer 13, an n-type InGaN quantum well active layer 14, a p-type AlGaN sublimation preventing layer 15, and a p-type GaN contact layer 16 are laminated successively on a sapphire substrate 11, where the quantum well active layer 14 is equipped with a well layer sandwiched inbetween a pair of barrier layers. Spontaneous emission light projected outside from the edge of the quantum well active layer 14 is polarized in a direction parallel with the surface of the sapphire substrate 11.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 05.02.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

BEST AVAILABLE COPY

[Date of final disposal for application]  
[Patent number] 3511372  
[Date of registration] 16.01.2004  
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of extinction of right]

Copyright (C) 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-144326

(P2001-144326A)

(43)公開日 平成13年5月25日 (2001.5.25)

(51)Int.Cl.

H 01 L 33/00  
G 11 B 7/125  
7/22  
H 01 S 5/343

識別記号

F I

H 01 L 33/00  
G 11 B 7/125  
7/22  
H 01 S 5/343

テ-マコ-ト(参考)

C 5 D 11 9  
A 5 F 0 4 1  
5 F 0 7 3

審査請求 有 請求項の数9 OL (全18頁)

(21)出願番号

特願2000-171342(P2000-171342)

(22)出願日

平成12年6月7日 (2000.6.7)

(31)優先権主張番号

特願平11-246791

(32)優先日

平成11年8月31日 (1999.8.31)

(33)優先権主張国

日本 (JP)

(71)出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72)発明者 山崎 幸生

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ

ャープ株式会社内

(72)発明者 伊藤 茂徳

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ

ャープ株式会社内

(74)代理人 100078282

弁理士 山本 秀策

最終頁に続く

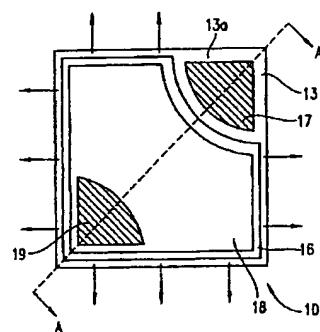
(54)【発明の名称】 半導体発光素子、それを使用した表示装置および光学式情報再生装置、並びに半導体発光素子の製造方法

(57)【要約】

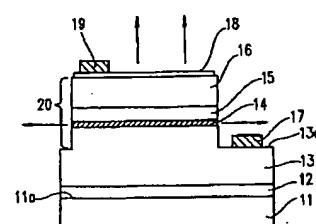
【課題】光取り出し効率に優れている。

【解決手段】サファイア基板11上に、GaNバッファ層12、n型GaNコンタク層13、n型InGaN量子井戸活性層14、p型AlGaN昇華防止層15、p型GaNコンタクト層16が順次積層されており、量子井戸活性層14は、一対の障壁層にて挟まれた井戸層を有している。量子井戸活性層の端面から外部に出射される自然放出光は、サファイア基板11の基板面に平行な方向に偏光している。

(a)



(b)



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】窒化物半導体によって構成されて、基板上に積層された第1導電型層と、

一対の障壁層にて挟まれた井戸層を有し、 $A_1G_a_1n_{1-p-q}N$  (ただし、 $0 \leq P, 0 \leq Q, P+Q < 1$ ) によって構成されて、この第1導電型層上に積層された量子井戸活性層と、  
窒化物半導体によって構成されて、この量子井戸活性層上に積層された第2導電型層と、を具備し、  
前記量子井戸活性層の端面から外部に射出される自然放出光が、前記基板に平行な方向に偏光していることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項2】前記井戸層内には  $In$  の混晶比の高い領域と低い領域とが混在しており、 $In$  の混晶比高い領域の平均の大きさが、 $1nm$  以上  $100nm$  以下であり、しかも、 $In$  組成の混晶比の高い領域の面密度が、 $1 \times 10^{11}$  個/ $cm^2$  以上である請求項1に記載の半導体発光素子。

【請求項3】前記基板は、サファイア基板であり、その(0001)面上に第1導電型層が積層されている請求項1に記載の半導体発光素子。

【請求項4】前記基板は、サファイア基板であり、その(0001)面から  $0.05^\circ$  以上  $0.2^\circ$  未満の範囲で傾斜した面上に第1導電型層が積層されている請求項1に記載の半導体発光素子。

【請求項5】前記基板は、 $GaN$  基板であり、その(0001)面に第1導電型層が積層されている請求項1に記載の半導体発光素子。

【請求項6】前記基板は、 $GaN$  基板であり、その(0001)面から  $0.05^\circ$  以上  $0.2^\circ$  未満の範囲で傾斜した面上に第1導電型層が積層されている請求項1に記載の半導体発光素子。

【請求項7】請求項1に記載の半導体発光素子を使用したこととを特徴とする表示装置。

【請求項8】請求項1に記載の半導体発光素子を使用したこととを特徴とする光学式情報再生装置。

【請求項9】請求項1に記載の半導体発光素子の製造方法であって、

前記井戸層の結晶成長の前後のいずれかにおいて、1秒以上  $300$  秒以下の時間にわたって、 $III$  族原料の供給を実質的に停止することを特徴とする窒化物半導体発光素子の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、表示装置、信号器等に使用される発光ダイオード (LED)、半導体レーザー素子等の半導体発光素子、それを使用した表示装置および光学式情報再生装置、並びに、その半導体発光素子の製造方法に関し、さらに詳述すれば、六方晶の結晶構造を有する窒化物系の半導体発光素子、それを使用し

2

た表示装置および光学式情報再生装置、並びに、その半導体発光素子の製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 $GaN$ 、 $AlN$ 、 $InN$ 、またはこれらの混晶に代表される窒化物半導体材料により、可視から紫外領域まで発光する発光素子 (LED) 等の半導体発光素子が実現されており、ディスプレイ・信号器等に応用されている。

【0003】例えば、窒化ガリウム系半導体材料を用いた半導体発光素子では、サファイア基板の(0001)面上に、 $GaN$  バッファ層と、 $n$  型  $GaN$  コンタクト層と、 $n$  型  $InGaN$  量子井戸活性層と、 $p$  型  $AlGaN$  昇華防止層と、 $p$  型  $GaN$  コンタクト層とが順次積層された積層体を有している。

【0004】積層体は、 $p$  型  $GaN$  コンタクト層と、 $p$  型  $AlGaN$  昇華防止層と、 $n$  型  $InGaN$  量子井戸活性層と、 $n$  型  $GaN$  コンタクト層の一部がそれぞれ除去されて、 $n$  型  $GaN$  コンタクト層の一部が、基板面とほぼ平行になるように露出した状態になったメサ構造になっている。そして、その  $n$  型  $GaN$  コンタクト層の露出面上に、負電極が設けられると共に、メサにおける  $p$  型  $GaN$  コンタクト層の上面には、ほぼ全面にわたって、透光性正電極が設けられて、その透光性正電極上の必要部分に正電極パッドが設けられている。

【0005】 $n$  型  $InGaN$  量子井戸活性層から発光した光は、透光性正電極を通じて上方に出射されるとともに、メサの側面から側方に向かって出射される。

【0006】また、例えば窒化ガリウム系半導体材料を用いた半導体レーザー素子では、サファイア基板の(0001)面上に、 $GaN$  バッファ層と、 $n$  型  $GaN$  コンタクト層と、 $n$  型  $AlGaN$  クラッド層と、 $n$  型  $GaN$  光ガイド層と、 $n$  型  $InGaN$  量子井戸活性層と、 $p$  型  $AlGaN$  昇華防止層と、 $p$  型  $GaN$  光ガイド層と、 $p$  型  $AlGaN$  クラッド層と、 $p$  型  $GaN$  コンタクト層とが順次積層された積層体を有している。

【0007】積層体は、 $p$  型  $GaN$  コンタクト層と、 $p$  型  $AlGaN$  クラッド層と、 $p$  型  $GaN$  光ガイド層と、 $p$  型  $AlGaN$  昇華防止層と、 $n$  型  $InGaN$  量子井戸活性層と、 $n$  型  $GaN$  光ガイド層と、 $n$  型  $AlGaN$  クラッド層と、 $n$  型  $GaN$  コンタクト層の一部がそれぞれ除去されて、 $n$  型  $GaN$  コンタクト層の一部が、基板面とほぼ平行になるように露出した状態になったメサ構造になっている。 $p$  型  $GaN$  コンタクト層上には、そのコンタクト層の上面の一部が露出するように、絶縁膜が設けられており、また絶縁膜は、メサにおける光が出射される側面を除いて、ほぼ全域にわたって設けられており、 $n$  型  $GaN$  コンタクト層の電極面も、一部が露出するよう覆っている。絶縁層から露出した  $p$  型  $GaN$  コンタクト層の上面には、正電極が設けられており、また、絶縁層から露出した  $n$  型  $GaN$  コンタクト層の上面

には、負電極が設けられている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】このような窒化物系半導体発光素子（発光ダイオード）では、通常、メサの側面から射出される光は、偏光が制御されていないために、光取り出し効率が良好でないという問題がある。

【0009】また、半導体レーザー素子においては、活性層の端面から射出される自然放出光の偏光が制御されていないことによって、雑音特性が悪いという問題がある。すなわち、自然放出光のレーザー発振モードへの結合係数 $\beta_s$ の制御がなされていないため、通常の半導体レーザー素子では、発振光のコヒーレント長（可干渉距離）が長くなり、光ディスク等の光学式情報再生装置の光源に使用すると、戻り光の雑音特性が増大するおそれがある。

【0010】本発明は、このような問題を解決するものであり、その目的は、光取り出し効率に優れ、また、雑音特性に優れた半導体発光素子およびその製造方法を提供すること、ならびに、半導体発光素子を使用した表示装置および光学式情報再生装置を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明の半導体発光素子は、窒化物半導体によって構成されて、基板上に積層された第1導電型層と、一対の障壁層にて挟まれた井戸層を有し、 $A_{1-p}G_{a_0}In_{1-p-q}N$ （ただし、 $0 \leq p, 0 \leq q, p+q < 1$ ）によって構成されて、この第1導電型層上に積層された量子井戸活性層と、窒化物半導体によって構成されて、この量子井戸活性層上に積層された第2導電型層と、を具備し、前記量子井戸活性層の端面から外部に出射される自然放出光が、前記基板に平行な方向に偏光していることを特徴とする。

【0012】前記井戸層内にはInの混晶比の高い領域と低い領域とが混在しており、Inの混晶比高い領域の平均の大きさが、1nm以上100nm以下であり、しかも、In組成の混晶比の高い領域の面密度が、 $1 \times 10^{11}$ 個/cm<sup>2</sup>以上である。

【0013】前記基板は、サファイア基板であり、その(0001)面上に第1導電型層が積層されている。

【0014】前記基板は、サファイア基板であり、その(0001)面から0.05°以上0.2°未満の範囲で傾斜した面上に第1導電型層が積層されている。

【0015】前記基板は、GaN基板であり、その(0001)面に第1導電型層が積層されている。

【0016】前記基板は、GaN基板であり、その(0001)面から0.05°以上0.2°未満の範囲で傾斜した面上に第1導電型層が積層されている。

【0017】本発明の表示装置は、このような半導体発光素子を使用することを特徴とする。

【0018】また、本発明の光学式情報再生装置このような半導体発光素子を使用することを特徴とする。

【0019】本発明の半導体発光素子の製造方法は、前記井戸層の結晶成長の前後のいずれかにおいて、1秒以上300秒以下の時間にわたって、III族原料の供給を実質的に停止することを特徴とする。

【0020】なお、本明細書において、量子井戸、量子井戸活性層とは、平均厚さが20nm以下の半導体層（井戸層）を、これよりバンドギャップの大きな半導体層（障壁層）で挟まれた構造をいう。

【0021】また、本明細書において、前記量子井戸活性層内に存在しているIn組成の混晶比の高い領域、In混晶比の大きい領域（InN高混晶比領域）とは、井戸層のある位置において、基板面に平行な面内24nm×24nm四方内の平均組成に比べて、In組成が5%以上高い領域を意味し、前記In組成比の低い領域、In混晶比の小さい領域（InN低混晶比領域）とは、井戸層のある位置において、基板面に平行な面内24nm×24nm四方内の平均組成に比べて、In組成が5%以上低い領域を意味する。

【0022】さらに、本明細書において、量子井戸活性層の井戸層の厚さは、ある場所における、基板面に平行な方向の長さ24nm辺りの平均値を表しており、これを平均の厚さと呼んでいる。

【0023】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しながら本発明の実施の形態を説明する。図1(a)は、本発明の半導体発光素子の実施の形態の一例を示す模式的な平面図、図1(b)は、図1(a)のA-A線に沿った模式的断面図である。この半導体発光素子は、窒化物系の半導体発光ダイオードであり、基板面11aが、一辺、数百μm程度の正方形状に構成されたサファイア基板11を有している。このサファイア基板11の基板面11aは、(0001)面または(0001)面に対して0.05°以上0.2°未満の範囲で傾斜している。

【0024】サファイア基板11の基板面11a上には、GaNバッファ層12が全面にわたって積層されており、このGaNバッファ層12上にn型GaNコンタクト層13が積層されている。このn型GaNコンタクト層13は、GaNバッファ層12の全面にわたって積層されており、その積層方向の中程における側縁部が全周にわたって除去されて、サファイア基板11の基板面11aに平行する面が露出している。また、n型GaNコンタクト層13の1つのコーナー部が扇形状に除去されて、サファイア基板11の基板面11aに平行な扇形状の電極面13aが露出している。

【0025】n型GaNコンタクト層13の扇形状をした電極面13a上には、負電極17が設けられている。この負電極17は、電極面13aと同様の扇形状に形成されている。

【0026】1つのコーナー部が扇形状に切り欠かれたn型GaNコンタクト層13の上面には、n型InGa

N量子井戸活性層14が全面にわたって積層されている。この量子井戸活性層14は、In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N障壁層（ただし、0 < x < 1）、In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N井戸層（ただし、0 < y < 1）、In<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N井戸層（ただし、0 < z < 1）が順次積層されて構成されている。量子井戸活性層14は、サファイア基板11における基板面11aにほぼ平行な方向に沿って、InN混晶比の大きな領域（InN高混晶比領域）と、InN混晶比の小さな領域（InN低混晶比領域）とが設けられている。InN高混晶比領域は、1nm以上100nm以下の長さにわたっており、活性層14内におけるその密度は、1×10<sup>11</sup>個/cm<sup>2</sup>以上になっている。

【0027】量子井戸活性層14には、Inの昇華を防止するために、p型AlGaN昇華防止層15が全面にわたって積層されており、さらに、p型AlGaN昇華防止層15上にp型GaNコンタクト層16が全面にわたって積層されている。そして、p型GaNコンタクト層16上に、透光性正電極18が、ほぼ全面にわたって設けられている。

【0028】透光性正電極18上には、正電極バッド19が設けられている。この正電極バッド19は、負電極17が設けられたn型GaNコンタクト層13のコーナー部に對向したコーナー部に、負電極17とは逆向きの平面扇形状に形成されている。

【0029】このような半導体発光素子としては、例えば、400μm×400μm程度のサファイア基板11の(0001)面である基板面11a上に、20nm程度の厚さのGaNバッファ層12が積層されて、4μm程度の厚さのn型GaNコンタクト層13が、電極面13aを形成して積層されている。そして、n型GaNコンタクト層13上に、5nm程度の厚さのIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N障壁層、平均3nm程度の厚さのIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N井戸層、5nmの厚さのIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N遮蔽層が順次積層されたn型InGaN量子井戸活性層14が設けられている。量子井戸活性層14には、厚さ30nm程度のp型AlGaN昇華防止層15、厚さが0.5μm程度のp型GaNコンタクト層16が順次積層されている。さらに、コンタクト層13の電極面13a上に負電極17、コンタクト層16上に透光性正電極18がそれぞれ設けられて、透光性正電極18上に正電極バッド19が設けられている。

【0030】このような半導体発光素子は、有機金属気相成長(MOCVD)法によって、次のようにして製造される。まず、サファイア基板11を洗浄して、結晶成長装置内に設置する。サファイア基板11は、1100°C程度の水蒸気雰囲気中にて、10分間にわたって熱処理される。その後、雰囲気温度は、500°C~600°C程度にまで低下され、一定の温度になると、キャリアガスを窒素として、その窒素ガスの全流量が10L/分になるように設定することによって、アンモニアが3L/

分程度の流量となるように供給する。そして、数秒後に、TMGを約20μmol/分の流量にて1分間にわたって供給し、低温にてGaNバッファ層12を20nm程度の厚さに成長させる。

【0031】その後、TMGの供給を停止して、温度を1050°Cまで上昇して、再度、TMGを約50μmol/分、SiH<sub>4</sub>ガスを約10nmol/分の割合で供給し、n型GaNコンタクト層13を4μm程度にまで成長させる。

10 【0032】このような状態になると、n型GaNコンタクト層13上に、n型InGaN量子井戸活性層14が成長される。n型InGaN量子井戸活性層14は、原料であるNH<sub>3</sub>ガス、TMG、TMI、TMA、SiH<sub>4</sub>ガス、Cp<sub>2</sub>Mgガスが、それぞれ、図2に示すタイムチャートに基づいて供給される。すなわち、n型GaNコンタクト層13が成長されると（図2のT<sub>1</sub>参照、以下同様）、NH<sub>3</sub>ガスの供給を継続した状態で、SiH<sub>4</sub>ガスとTMGの供給が停止され、例えば、基板11の温度が650~850°C程度にまで低下され、量子井戸活性層14の成長が開始される（T<sub>2</sub>）。

【0033】量子井戸活性層14の成長速度は、製造される半導体発光素子の発光波長を決定する1つのパラメータになり、低温であるほど、発光波長が長くなる傾向を示し、基板11の温度が650~860°Cの温度では、製造される半導体発光素子から発せられる光の波長は、紫色~緑色の波長帯になる。従って、他の色の波長帯の半導体発光素子を製造する場合には、基板11の温度が変更される。

【0034】基板11の温度が安定した状態になると、30 NH<sub>3</sub>ガスの供給量を増加させると共に、10μmol/分の割合で、TMGおよびTMIがそれぞれ供給され、平均の厚さが5nm程度のIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N障壁層が成長される（T<sub>3</sub>）。この場合、SiH<sub>4</sub>ガスを、10μmol/分程度の割合で供給して、井戸層にSiを添加するようにしてもよい。

【0035】障壁層が成長されると、一旦、TMGおよびTMIの供給が停止され、キャリアガスおよびNH<sub>3</sub>ガスの供給を継続しつつ、1秒以上300秒以下の時間にわたって、III族原料ガスの供給を実質的に中断して、結晶成長を中断する（T<sub>4</sub>）。

【0036】その後、再度、TMGを10μmol/分の割合、TMIを50μmol/分の割合で、それぞれ供給し、平均厚さが3nm程度のIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N井戸層を成長させる（T<sub>5</sub>）。井戸層が成長されると、再度、TMGおよびTMIの供給が停止され、キャリアガスおよびNH<sub>3</sub>ガスの供給を継続しつつ、1秒以上300秒以下の時間にわたって、III族原料ガスの供給を実質的に中断して、結晶成長を中断する（T<sub>6</sub>）。そして、再度、10μmol/分の割合で、TMGおよびTMIがそれぞれ供給され、5nmの厚さのIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N

.,, N遮蔽層が形成される。

【0037】このようにして、一対の遮蔽層の間に井戸層が挟まれた量子井戸活性層14が形成されるが、必要に応じて、遮蔽層と井戸層との成長を複数回にわたって繰り返して、複数の井戸層を形成するようにしてもよい。図2のT<sub>1</sub>は、このように、複数の井戸層を設ける場合のタイムチャートを示している。なね、井戸層の成長の前後において、結晶成長を中断させて複数の井戸層を成長させる場合には、2~10層の井戸層を設けることにより、最も発光効率のよい量子井戸活性層14とすることになることが確認されている。

【0038】1または複数の井戸層が形成されると、TMGが10 μmol/分の割合、TMAが5 mol/分の割合で供給されると共に、Cp,Mgガスが供給される(T<sub>2</sub>)。これにより、約30 nmの厚さのp型AlGaN昇華防止層15が形成される。

【0039】その後、TMG、TMIおよびCp,Mgガスの供給を停止して、NH<sub>3</sub>ガスの供給を継続した状態で、基板11の温度を、再び、1050°Cに上昇させる(T<sub>3</sub>)。基板11が所定の温度にまで上昇されると、TMGを50 μmol/分の割合で供給すると共に、Cp,Mgガスを供給して、p型GaNコンタクト層16を約0.5 μmの厚さに成長させる(T<sub>4</sub>)。その後、TMGおよびCp,Mgガスの供給が停止されて、基板11の加熱を終了する。

【0040】このようにして、MOCVD法によって半導体層が積層されると、フォトリソグラフィー技術および反応性イオンエッティング技術により、p型GaNコンタクト層16の上面から、n型GaNコンタクト層13の積層方向中程にわたって、半導体積層体の周縁部が除去されると共に、1つのコーナー部が所定の形状に除去されて、n型GaNコンタクト層13が露出した電極部17aが形成される。これにより、量子井戸活性層14を有するメサ20が形成される。

【0041】その後、n型GaNコンタクト層13の電極部17a上に、Al/Ti、Au/W等によって形成された負電極17が設けられ、また、p型GaNコンタクト層16上に、Au/Ni、Au/Pd等によって形成された透光性正電極18が設けられる。そして、透光性正電極18上における負電極17が設けられたコーナー部との対角位置に、例えばAuにて構成された正電極パッド19が設けられる。

【0042】サファイア基板11は、通常、ウエハーとして準備され、ウエハー上にて、MOCVD法による半導体層の積層、エッティング等が実施された後に、400 μm×400 μmの正方形状に切り出されて、図1に示す半導体発光素子とされる。

【0043】このようにして製造された半導体発光素子の積層構造体の一部を切削して透過電子顕微鏡(略称:TEM)により発光層内部の結晶組織の構成を観察する

ための短冊状の試料を作製し、一般的な透過型電子顕微鏡を使用して、発光層の断面TEM像を加速電圧200キロボルト(kV)で撮像した。その結果、量子井戸活性層14とn型GaNコンタクト層13との界面に、直径約2 nmの略球状の結晶体がほぼ一様に分布していることが認められた。これらの結晶体が、光学顕微鏡観察によって観察された輝点に相当していると考えられる。

【0044】撮像したTEM断面像から量子井戸活性層14内の結晶体の総数を計数したところ、(0100)結晶面側のTEM断面像に撮像された結晶体数は、横幅が24 nm、高さ(層厚に相当する)が約3 nmの撮像面積において、5個程度であった。また、(1000)結晶面側で計数された結晶体の総数は、同様の撮像面積において、4~5個程度であった。

【0045】また、撮像する領域を変化させて、ある面積の領域において平均して含有される結晶体の数を求めたところ、一辺の長さを24 nmとする正方形(面積=5.8×10<sup>-12</sup> cm<sup>2</sup>)内に含まれる結晶体の数は、平均して23個であった。単位面積(1 cm<sup>2</sup>)当たりの結晶体の総数に換算すれば、4.0×10<sup>12</sup> cm<sup>-2</sup>となった。一方、結晶体の中心間の平均距離は約4.8 nmであった。この結晶体間の平均距離である4.8 nmを一辺とする正方形(面積=2.3×10<sup>-13</sup> cm<sup>2</sup>)内に1個の結晶体が存在するとすれば、単位面積(1 cm<sup>2</sup>)内の結晶体の総数は、4.3×10<sup>11</sup> cm<sup>-2</sup>と計算され、上記の換算値に、ほぼ一致していた。

【0046】薄層化した上記試料の断面を、一般的な分析用電子顕微鏡で観察して量子井戸活性層14の内部の結晶構造を解析した。インジウムの濃度を分析するために行なったEPMA(electron-probe micro-analysis)の分析結果からは結晶体には他の領域、いわゆる母相の内部に比較してより多くのインジウムが含有されていることが認められた。母相からもインジウムの特性X線に起因すると推定される信号(signa1)が検知されたが、その濃度は、井戸層の平均In組成よりも5%以上低い値であった。これに対し、結晶体中に含有するインジウムの濃度は、井戸層の平均In組成より5%以上高い値であり、最大10%以上高い値も検出された。検出されるインジウムのk<sub>40</sub>α特性X線の強度から判断すれば、結晶体の相互間にもインジウム濃度の相違が%の単位で存在することを教示する結果が得られたが、EPMA分析器の検出性能では、濃度の相違を正確に定量することができなかった。また、結晶体とその周囲の母相との境界には歪等によると思われる結晶格子の配列が乱れた領域が存在した。

【0047】このような半導体発光素子では、n型GaNコンタクト層13の上部と、n型InGaN量子井戸活性層14と、p型AlGaN昇華防止層15と、p型GaNコンタクト層16と、透光性正電極18とによって、メサ20が形成されており、正電極18と、負電極

17との間に電流を流すことにより、n型InGaN量子井戸活性層14から光が発生し、その発生した光の大部分が、サファイア基板11の基板面11aにほぼ平行に伝播して、メサ20の側面から出射される。

【0048】この場合、n型InGaN量子井戸活性層14には、InN混晶比の大きな領域（InN高混晶比領域）と、InN混晶比の小さな領域（InN低混晶比領域）とが設けられているために、メサ20の側面からは、基板面11aに平行な方向に偏光した状態で、光が出射される。

【0049】また、量子井戸活性層14内に発生した残りの光は、基板面11aに対してほぼ垂直方向に伝播されて、透光性電極18を通して上方に出射される。

【0050】図1に示す半導体発光素子を発光させた状態で、基板面11aに対して垂直で、しかも、半導体成長面側の方向から光学顕微鏡にて発光の様子（発光パターン）を観察し、観測された映像の画像解析処理により、発光強度の面内分布を調べたところ、径が分解能以下（100nm以下）になっている輝点が、 $1 \times 10^{11}$ 個/cm<sup>2</sup>以上の密度で観測された。

【0051】なお、図15は、本発明において、量子井戸活性層14の端面から外部に取り出される自然放出光の偏光方向を調べるための光学系を示す模式図である。この光学系では、半導体発光素子10の量子井戸活性層14の端面から放出された光は、レンズ163を通じて光検出器162に集光されるようになっている。レンズ163は、10～100倍程度の顕微鏡対物レンズ、例えば、UM-PlanFI（100x, 0.90BD P、株式会社オリンパス社製）が使用される。このレンズ163と光検出器162との間の位置には、偏光子164が挿入されている。偏光子164は、光軸を中心回転できるようになっている。

【0052】このような光学系において、偏光子164の透過軸方向が半導体発光素子10の基板面に対して平行となるように偏光子164を固定したときに、光検出器162にて検出される光強度をP1、偏光子164の透過軸方向が半導体発光素子10の基板面に対して垂直となるように偏光子164を固定したときに、光検出器162にて検出される光強度をP2とすると、P1/P2が偏光比として求められる。

【0053】この偏光比が1より大きい場合には、量子井戸活性層14の端面から外部に取り出される自然放出光が基板面に対してほぼ平行方向に偏光しているものとし、偏光比が1より小さい場合には、量子井戸活性層14の端面から外部に取り出される自然放出光が、基板面に対してほぼ垂直方向に偏光しているものとする。

【0054】メサ20の側面から基板面11aに平行な方向に偏光した状態で出射される光は、n型InGaN量子井戸活性層14には、InN混晶比の大きな領域（InN高混晶比領域）と、InN混晶比の小さな領域

（InN低混晶比領域）とが設けられていることによるものであるが、このようなInN混晶比の異なる領域は、半導体発光素子の製造に際して、量子井戸活性層14内の井戸層の形成のための結晶成長の前後に、1秒以上300秒以下にわたって、結晶の成長を中断させたことによって形成される。特に、結晶成長の中断時間を、5秒以上200秒以下とすることが望ましく、さらに、10秒以上80秒以下とすることが望ましい。

【0055】結晶成長の中断時間を5秒以上200秒以下とした場合には、メサ20の側面から出射される光の偏光比は10より大きく、外部量子効率は8%以上であった。結晶成長の中断時間を10秒以上80秒以下とした場合には、メサ20の側面から出射される光の偏光比は15以上、外部量子効率は5%以上であった。また、発光スペクトルのピーク波長は470nmであった。

【0056】図3のグラフ中の実線は、図1に示す半導体発光素子におけるメサ20の側面から出射される光について、基板面11aに対してほぼ垂直方向に偏光した光の強度と、基板面11aに平行な方向に偏光した光の強度との割合（TE偏光比）に対する半導体発光素子の外部量子効率（%）を示すグラフである。このグラフは、半導体発光素子を製造する際に、量子井戸活性層14の井戸層の結晶成長の前後における結晶成長の中断時間を変更して、複数の半導体発光素子を製造し、各半導体発光素子のTE偏光比に対する外部量子効率をプロットしたものである。このような特性は、量子井戸活性層14からの発光スペクトルの波長ピークが390nm以上、530nm以下の範囲内になった半導体発光素子において、同様に認められることが確認された。

【0057】図3のグラフにおいて、半導体発光素子のメサ20側面から出射した光の偏光比が高くなるほど、外部量子効率が増大している。その理由については、必ずしも明確ではないが、次のように推測される。

【0058】一般に、透光性電極18は光を吸収するために、半導体発光素子の光取り出し効率（外部量子効率）を向上させるためには、メサ20の上面から放射される光の量を減らし、メサ20の側面から放射される光の量を増加させることが望ましい。

【0059】量子井戸活性層14にて発生される光が基板面11aに対してほぼ平行方向に偏光している場合、すなわち、TE偏光比が1より大きい場合には、偏光が全く発生していない場合、すなわち、偏光比が1の場合に比較すると、メサ20上面に入射する光のP偏光成分（入射光および反射光を含む平面に対して平行な成分）が小さくなる。一般に、P偏光成分は、S偏光成分（入射光および反射光を含む平面に対して垂直な成分）に比較して、界面における透過率が大きいために、P偏光成分を抑えることによってメサ20上面における光の透過が抑制され、メサ20側面から出射される光量が増加す

る。

【0060】以上の理由により、量子井戸活性層14から発生する光が基板面11aに対し平行方向に偏光している場合には、半導体発光素子の光取り出し効率（外部量子効率）が向上すると考えられる。

【0061】他方、内部量子効率は半導体発光素子の作製時における量子井戸活性層14の井戸層の結晶成長前後の結晶中断時間を変化させても、大きな変化はなく、外部量子効率が変化する限度内における内部量子効率の変化の程度は、10%以内であると考えられる。その結果、量子井戸活性層14から発生する光が基板面11aに対して平行方向に偏光した場合に、光取り出し効率が増加することによって、図3のグラフに示される特性が生じると推測される。

【0062】図3のグラフにより、半導体発光素子のメサ20側面から出射した光の偏光比が高いほど、半導体発光素子の外部量子効率は向上するが、半導体発光素子の外部量子効率向上のためには、偏光比が5より大きいことが望ましく、また、10より大きいことがさらに望ましく、さらには、15より大きいことが望ましい。

【0063】図4は、図1に示す半導体発光素子における量子井戸活性層14内に含まれる最下層の障壁層の結晶成長直後の結晶成長の中断時間と、半導体発光素子のメサ20側面から出射する光のTE偏光比との関係を示すグラフである。量子井戸活性層14内に含まれる最下層の障壁層の結晶成長直後に、結晶成長の中断時間を1秒以上設けることにより、続いて形成される井戸層におけるInN高混晶領域の密度を $1 \times 10^{11}$ 個/ $\text{cm}^2$ 以上とすることができます。その結果、半導体発光素子のメサ20側面から出射される光の偏光比を増大させることができるために、半導体発光素子の光取り出し効率が著しく向上する。

【0064】なお、活性層14における最下側の障壁層の結晶成長直後に設けられる結晶成長中断の時間が300秒以上になると、メサ側面から出射される光の偏光比が減少する。その理由は、必ずしも明らかではないが、次のように推測される。活性層内の最下側の障壁層の結晶成長直後の結晶成長の中断時間が、300秒以上になると、続いて形成される井戸層内において、相分離が促進され、InN高混晶領域のサイズが小さくなり、その領域内でのInN混晶比が増大する。その結果、活性層14内のキャリア密度がInN高混晶領域に局在し、異なるInN高混晶領域間における注入キャリア密度分布の重なりが消失することになり、注入キャリアは量子箱に閉じ込められたような挙動を示し、偏光比が減少するものと考えられる。

【0065】図4のグラフより、最下側の障壁層の結晶成長直後の結晶成長中断の時間は、1秒以上、300秒以下に設定される。特に、5秒以上200秒以下が望ましく、さらには、10秒以上80秒以下が望ましい。

【0066】なお、図4は、活性層14内に含まれる最下層の障壁層の結晶成長直後に設けられた結晶成長の中断時間と、半導体発光素子のメサ20側面から出射される光のTE偏光比との関係を示しているが、前記活性層14内に含まれる井戸層の成長直後に設けられた成長中断時間に対しても、メサ20側面から出射される光のTE偏光比は、ほぼ同様の依存性を示すことが確認されている。また、井戸層が複数設けられる多重量子井戸とする場合も、各井戸層の結晶成長の前後における成長の結晶中断時間に対するTE偏光比が、ほぼ同様の依存性を示すことが確認されている。

【0067】図5は、傾斜角の異なる複数のサファイア基板を用いて、図1に示す構成の半導体発光素子を製造した場合において、各半導体発光素子のメサ20側面から出射される光のTE偏光比と、サファイア基板11の基板面11aの傾斜角との関係を示すグラフである。このグラフは、サファイア基板11の基板面が<11-20>方向に傾斜した場合の特性曲線である。

【0068】図5のグラフより、サファイア基板11の基板面の傾斜角が、0.05°以上0.2°未満の場合に、TE偏光比が向上している。また、<0001>方向からの傾斜の方向にかかわらず、どの方向に傾斜しても、TE偏光比が向上していることがわかった。これは、結晶方位を<0001>方向からごく僅かに傾斜させたサファイア基板11上に半導体層を積層することにより、活性層14の下地層の表面状態が変化し、InN高混晶比領域の大きさおよび密度の制御が容易になることによると考えられる。

【0069】図6は、図1に示す半導体発光素子におけるメサ20側面から出射される光のTE偏光比に対する单一の量子井戸活性層14中の井戸層内におけるInN高混晶比領域の面内密度、およびサイズの関係をそれぞれ示すグラフである。

【0070】図6のグラフでは、TE偏光比が増大すると、InN高混晶比領域の密度が $1.0 \times 10^{11}$ 個/ $\text{cm}^2$ 以上と大きくなり、InN高混晶比領域のサイズが1nmと大きくなっている。その理由については、必ずしも明らかではないが、以下のように推測される。電流注入時において、InN高混晶比領域では、InN低混晶比領域に比べて、注入キャリア密度が高くなるが、InN高混晶比領域のサイズが1nm以上であり、またInN高混晶比領域の密度が $1.0 \times 10^{11}$ 個/ $\text{cm}^2$ 以上と大きい場合には、隣接する注入キャリア密度の分布が重なりを生じる。その結果、注入キャリアは、0次元の量子箱でなく、2次元量子井戸に閉じ込められた場合のような挙動を示し、メサ20側面から出射される光が、基板面11aに対してほぼ平行方向に偏光する。その結果、半導体発光素子の光取り出し効率が著しく向上する。

【0071】なお、InN高混晶比領域のサイズが1n

m以上と大きい場合に、TE偏光比を大きくすることができますが、100nm以上となると、注入キャリア密度が低下し、光取り出し効率が増加するものの、内部量子効率の低下が無視できなくなり、外部量子効率が低下することになる。従って、InN高混晶比領域のサイズは100nm以下が好ましい。

〔0072〕このように、InN高混晶比領域の密度が $1 \times 10^{11}$ 個/cm<sup>2</sup>以上、サイズが1nm以上100nm以下の場合に、メサ20側面から出射される光のTE偏光比が大きくなる。

〔0073〕なお、図1に示す半導体発光素子の活性層14は単一量子井戸構造であり、障壁層、井戸層、障壁層からなる3層構造であるが、活性層14として多重量子井戸構造を作製した場合は、InN高混晶比領域の面内密度およびサイズとしては、全ての井戸層におけるInN高混晶比領域の面内密度およびサイズの平均値が、それぞれ採用される。その場合においても、TE偏光比とInN高混晶比領域の面内密度およびサイズとの関係は、図6に示すグラフと、同様の傾向を示すことが確認されている。

〔0074〕図7(a)は、本発明の半導体発光素子の実施の形態の一例を示す模式的な平面図、図7(b)は、図7(a)のB-B線に沿った模式的な断面図である。この半導体発光素子では、例えば、100μm×200μm程度のサファイア基板11の(0001)面である基板面11a上に、図1に示す半導体発光素子と同様に、20nm程度の厚さのGaNバッファ層12が積層されて、4μm程度の厚さのn型GaNコンタクト層13が積層されている。そして、このn型GaNコンタクト層13のほぼ半分の側部が除去されて長方形状の電極面13aが形成されている。電極面13a以外のn型GaNコンタクト層13部分には、5nm程度の厚さのIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N障壁層、3nm程度の厚さのIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N井戸層、5nmの厚さのIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N遮蔽層が順次積層されたn型InGaN量子井戸活性層14が設けられる。量子井戸活性層14には、厚さ30nm程度のp型AlGaN昇華防止層15、厚さが0.5μm程度のp型GaNコンタクト層16が順次積層されている。

〔0075〕n型GaNコンタクト層13の長方形状をした電極面13a上には、Au/Ti、Au/W等によって構成された負電極17が、その電極面13aのほぼ全面にわたって、また、メサ20と同様の高さにわたって設けられている。p型GaNコンタクト層16上には、正電極バッドを兼用する正電極23が設けられている。正電極23としては、Au/Ni、Au/Pd等が用いられる。

〔0076〕このような構成の半導体発光素子も、図1に示す半導体発光素子と同様に、MOCVD法によって、図2に示すタイムチャートに基づく同様の手順によ

って製造される。従って、図7に示す半導体発光素子も、量子井戸活性層14には、基板面11aに対して平行方向にInN高混晶比領域と、InN低混晶比領域とが存在しており、InN高混晶比領域の大きさが、1nm以上100nm以下である。しかも、InN高混晶比領域が活性層内に存在する密度は、 $1 \times 10^{11}$ 個/cm<sup>2</sup>以上になっている。その結果、メサ20の側面から出射される光は、基板面11aに平行な方向に偏光した状態になっている。この場合の発光スペクトルのピーク波長は470nmである。

〔0077〕しかも、メサ20の上面に設けられた正電極23が正電極バッドを兼用しているために、メサ20の上面から光が射出されず、従って、活性層14にて生成される光のほとんどが、メサ20の側面から射出されることになり、光取り出し効率が向上する。また、メサ20の上面から光が射出されないために、正電極23の上面全体をワイヤボンディング領域として使用することができるために、図1に示す半導体発光素子に比べて、チップサイズを小さくすることができる。さらに、正電極23は、電極バッドを兼用しているために、電極バッドを形成するための工程が不要になり、製造コストを削減することができる。

〔0078〕図7に示す半導体発光素子におけるメサ20側面から射出される光のTE偏光比と、外部量子効率(光取り出し効率)との関係を、図3のグラフに破線で示す。外部量子効率は、TE偏光比が低い場合には、図1に示す半導体発光素子に比べて劣るが、TE偏光比が高くなるほど、図1に示す半導体発光素子と同程度のレベルにまで達している。TE偏光比が10より大きく、特に、15よりも大きくなると、図1に示す半導体発光素子の外部量子効率にほぼ等しくなっている。これは、TE偏光比の増大により、メサ20上面における光の透過率が減少し、反射率が増大したために、活性層14にて発生した光のほとんどが、メサの側面から射出していることによるものと思われる。

〔0079〕また、光学顕微鏡観察による発光パターン測定、TEM解析およびEPMA解析の結果は、図1に示す半導体発光素子とほぼ同様の結果であった。

〔0080〕なお、図1および図7に示す半導体発光素子において、サファイア基板の基板面を、<0001>方向から<11-20>方向に、0.1°の傾斜角をつけて鏡面研磨した(0001)面としてもよい。図1に示す半導体発光素子において、このような基板面とすると、発光スペクトルのピーク波長は470nmであり、メサ側面から射出される光の偏光比が10以上であり、光取り出し効率が大きく、高輝度な半導体発光素子が得られる。

〔0081〕図8は、本発明の半導体発光素子のさらに他の例を示す断面図である。この半導体発光素子は、例えば、400μm×400μm程度の正方形状をしたG

a N基板4 1を有しており、GaN基板4 1の(0001)面の基板面4 1 a上に、20nm程度の厚さのGaNバッファ層4 2が積層されて、4μm程度の厚さのn型GaNコンタクト層4 3が積層されている。そして、n型GaNコンタクト層4 3上に、5nm程度の厚さのIn<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>N障壁層、平均3nm程度の厚さのIn<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>N井戸層、5nm程度の厚さのIn<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>N遮蔽層が順次積層されたn型InGaN量子井戸活性層4 4が設けられている。量子井戸活性層4 4には、厚さ30nm程度のp型AlGaN昇華防止層4 5、厚さが0.5μm程度のp型GaNコンタクト層4 6が順次積層されている。p型GaNコンタクト層4 6の上面には、正電極4 8が、そのほぼ全域にわたって設けられており、また、GaN基板4 1における半導体層が設けられていない裏面側に、負電極1 7が、そのほぼ全面にわたって設けられている。

【0082】量子井戸活性層4 4は、GaN基板4 1にほぼ平行な方向に沿って、InN高混晶比領域と、InN低混晶比領域とが設けられている。InN高混晶比領域は、1nm以上100nm以下の長さにわたっており、活性層4 4内におけるその密度は、1×10<sup>11</sup>個/cm<sup>2</sup>以上になっている。

【0083】このような半導体発光素子も、図1に示す半導体発光素子における半導体層の結晶成長と同様にして、半導体層の結晶が成長される。従って、量子井戸活性層4 4の結晶成長に際して、井戸層の結晶成長の前後にわたって、結晶成長の中断時間が設けられる。そして、半導体層の結晶成長が終了した後に、p型GaNコンタクト層4 6の上面に、正電極4 8が設けられると共に、GaN基板4 1の裏面に負電極1 7が設けられて、図8に示す半導体発光素子とされる。

【0084】このような構成の半導体発光素子では、GaN基板4 1を使用していることにより、負電極4 7をGaN基板4 1の基板面とは反対側の裏面に設けることができる。従って、負電極4 7を設けるための特別な領域を、半導体層上に形成する必要がなく、素子全体を小型化することができる。本実施の形態では、素子は、100μm×100μmの大きさである。

【0085】また、GaN基板4 1を使用しているために、GaN基板4 1と半導体成長層との間に発生する格子歪を低減させることができ、従って、製造される半導体発光素子から発せられる光の波長の、素子毎のばらつき等を低減させることができる。その結果、半導体発光素子の製造の歩留まりが著しく向上する。

【0086】図8に示す半導体発光素子において、活性層4 4の側面から射出される光のTE偏光比と、外部量子効率(光取り出し効率)との関係を、図9のグラフに示す。この半導体発光素子の外部量子効率は、図7に示す半導体発光素子に比べて、全体的に向上している。これは、GaN基板4 1が活性層4 4にて発せられる光

に対して透明であり、しかも、導電性基板であるために、正電極1 8の大きさを、半導体発光素子の上面の大きさにほぼ等しくすることができ、半導体発光素子の側面から有効に光を取り出せることができるところによる。

【0087】また、光学顕微鏡観察による発光パターン測定、TEM解析およびEPMA解析の結果は、図1に示す半導体発光素子とほぼ同様の結果であった。

【0088】なお、この半導体発光素子においても、GaN基板4 1の基板面を、<0001>方向から<11-20>方向に、0.05°以上0.2°未満の傾斜角をつけて鏡面研磨した(0001)面としてもよい。

【0089】図10は、本発明の半導体発光素子のさらに他の例を示す窒化ガリウム系半導体レーザー素子の構成を示す断面図である。この半導体レーザー素子は、サファイア基板101の(0001)面である基板面101a上に、20nm程度の厚さのGaNバッファ層102が積層されて、4μm程度の厚さのn型GaNコンタクト層103が積層されている。コンタクト層103には、電極面103aが形成されている。そして、n型GaNコンタクト層103上に、0.5μm程度の厚さのAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層104、0.1μm程度の厚さのGaN光ガイド層105が、順次、積層されている。

【0090】GaN光ガイド層105上には、約5nmの厚さのn型In<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>N遮蔽層、平均厚さが約3nmのn型In<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>N井戸層、約5nmの厚さのn型In<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>N遮蔽層が順次積層されたn型InGaN量子井戸活性層106が設けられている。量子井戸活性層106には、厚さ30nm程度のp型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N昇華防止層107、厚さが0.1μm程度のp型GaN光ガイド層108、0.5μm程度の厚さのAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層109、厚さが0.5μm程度のp型GaNコンタクト層110が順次積層されている。

【0091】量子井戸活性層106は、サファイア基板101における基板面101aにほぼ平行な方向に沿って、InN高混晶比領域と、InN低混晶比領域とが設けられている。InN高混晶比領域は、1nm以上100nm以下の長さにわたっており、活性層106内におけるその密度は、1×10<sup>11</sup>個/cm<sup>2</sup>以上になっている。

【0092】p型GaNコンタクト層110上には、そのコンタクト層110の上面の一部が露出するように、絶縁膜111が設けられており、また、絶縁膜111は、メサ114における光が射出される側面を除いて、ほぼ全域にわたって設けられており、n型GaNコンタクト層103の電極面103aも、一部が露出するように覆っている。絶縁膜111から露出したp型GaNコンタクト層110の上面には、正電極113が設けられており、また、絶縁膜111から露出したp型GaNコ

ンタクト層103の上面には負電極112が設けられている。

【0093】このような構成の半導体レーザー素子も、図1に示す半導体発光素子の製造方法と同様に、MOCVD法によって製造される。この場合、基板101を洗浄して、結晶成長装置内に設置する。基板101は、水素雰囲気中1100°C程度の温度で約10分程度熱処理を施し、その後温度を500°C~600°C程度に降温する。温度が一定になれば、キャリアガスを窒素に替え、窒素ガスの全流量を10L/分として、アンモニアを約3L/分の流量で供給し、数秒後、TMGを約20μmol/分の流量で、約1分間にわたって供給して、低温にて、GaNバッファ層102を成長させた。成長したGaNバッファ層102の厚さは約20nmである。その後、TMGの供給を停止し、温度を1050°Cまで昇温し、再びTMGを約50μmol/分の流量にて供給すると共に、SiH<sub>4</sub>ガスを約10nmol/分にて供給して、n型GaNコンタクト層103を約4μmにわたって成長させる。次に、TMAを10μmol/分の流量で供給し、0.5μmの厚さのn型Al<sub>0.1</sub>GaNクラッド層104を成長させる。次に、TMAの供給を停止し、約0.1μm厚さのn型GaN光ガイド層105を成長させる。

【0094】その後、図1に示す半導体発光素子の場合と同様に、図2に示すタイムチャートに基づいて、各原料が供給される。すなわち、n型GaN光ガイド層105が成長されると(図2のT<sub>1</sub>参照、以下同様)、NH<sub>3</sub>ガスの供給を継続した状態で、SiH<sub>4</sub>ガスとTMGの供給が停止され、例えば、基板11の温度が650~850°C程度にまで低下され、量子井戸活性層106の成長が開始される(T<sub>2</sub>)。

【0095】量子井戸活性層106の成長速度は、製造される半導体レーザー素子から発振されるレーザー光の波長を決定する1つのパラメータになり、低温であるほど、レーザー光の波長が長くなる傾向を示し、基板101の温度が650~860°Cの温度では、製造される半導体発光素子から発せられる光の波長は、紫色~緑色の波長帯になる。従って、他の色の波長帯の半導体発光素子を製造する場合には、基板101の温度が変更される。

【0096】基板101の温度が安定した状態になると、NH<sub>3</sub>ガスの供給量を増加すると共に、10μmol/分の割合で、TMGおよびTMIがそれぞれ供給され、平均の厚さが5nm程度のn型In<sub>0.05</sub>GaN<sub>0.95</sub>N障壁層が成長される(T<sub>3</sub>)。この場合、SiH<sub>4</sub>ガスを10μmol/分程度の割合で供給して、井戸層にSiを添加するようにしてもよい。

【0097】障壁層が成長されると、一旦、TMGおよびTMIの供給が停止され、キャリアガスおよびNH<sub>3</sub>ガスの供給を継続しつつ、1秒以上300秒以下の時間

にわたって、III族原料ガスの供給を実質的に中断して、結晶成長を中断する(T<sub>4</sub>)。

【0098】その後、再度、TMGを10μmol/分の割合、TMIを50μmol/分の割合で、それぞれ供給し、平均厚さが3nm程度のIn<sub>0.05</sub>GaN<sub>0.95</sub>N井戸層を成長させる(T<sub>5</sub>)。井戸層が成長されると、再度、TMGおよびTMIの供給が停止され、キャリアガスおよびNH<sub>3</sub>ガスの供給を継続しつつ、1秒以上300秒以下の時間にわたって、III族原料ガスの供給を実質的に中断して、結晶成長を中断する(T<sub>6</sub>)。そして、再度、10μmol/分の割合で、TMGおよびTMIがそれぞれ供給され、5nmの厚さのn型In<sub>0.05</sub>GaN<sub>0.95</sub>N遮蔽層が形成される。

【0099】このようにして、一対の遮蔽層の間に井戸層が挟まれた量子井戸活性層106が形成されるが、必要に応じて、遮蔽層と井戸層との成長を複数回にわたって繰り返して、複数の井戸層を形成するようにしてもよい。なお、井戸層の成長の前後において、結晶成長を中断させて複数の井戸層を成長させる場合には、2~10層の井戸層を設けることにより、レーザー光の発光効率が最もよい量子井戸活性層106とすることができる。

【0100】1または複数の井戸層が形成されると、TMGが10μmol/分の割合、TMAが5mol/分の割合で供給されると共に、Cp,Mgガスが供給される(T<sub>7</sub>)。これにより、約30nmの厚さのp型AlGaN昇華防止層107が形成される。

【0101】その後、TMG、TMIおよびCp,Mgガスの供給を停止して、NH<sub>3</sub>ガスの供給を継続した状態で、基板11の温度を、再び、1050°Cに上昇させる(T<sub>8</sub>)。基板11が所定の温度にまで上昇されると、TMGを50μmol/分の割合で供給すると共に、Cp,Mgガスを供給して、p型GaN光ガイド層108を約0.1μmの厚さに成長させる(T<sub>9</sub>)。その後、TMAを10μmol/分の割合で供給し、0.5μm程度の厚さのAl<sub>0.1</sub>GaN<sub>0.9</sub>クラッド層109を成長させる。その後、TMAの供給を停止して、厚さが0.5μm程度のp型GaNコンタクト層110を成長させる。このようにして、半導体層が積層されると、TMGおよびCp,Mgガスの供給が停止されて、基板11の加熱が終了される。

【0102】このようにして、MOCVD法によって半導体層が積層されると、フォトリソグラフィー技術および反応性イオンエッチング技術により、n型GaNコンタクト層103の中程まで除去して、n型GaNコンタクト層103が露出した電極部103aが形成される。

【0103】その後、フォトリソグラフィー技術によって、p型GaNコンタクト層110の上面およびn型GaNコンタクト層103の電極部103a上面における正電極113および負電極112がそれぞれ接触する部分を除いて、絶縁膜111を形成する。

【0104】このような状態になると、絶縁膜211から露出したp型GaNコンタクト層210の上面およびn型GaNコンタクト層203の電極部103a上面に正電極113および負電極112がそれぞれ設けられる。

【0105】サファイア基板101は、通常、ウエハーとして準備され、ウエハー上にて、MOCVD法による半導体層の積層、エッチング等が実施された後に、400μm×400μmの正方形に切り出されて、図10に示す半導体レーザー素子とされる。

【0106】なお、図10に示す半導体レーザー素子において、サファイア基板の基板面を、<0001>方向から<11-20>方向に、0.1°の傾斜角をつけて鏡面研磨した(0001)面としてもよい。図1に示す半導体発光素子において、このような基板面とすると、発光スペクトルのピーク波長は470nmであり、メサ側面から出射される光の偏光比が10以上になり、光取り出し効率が大きく、高輝度な半導体発光素子が得られる。

【0107】また、図10に示す半導体レーザー素子において、基板の面方位を0.1°傾斜させることにより、半導体レーザー素子の活性層で生じる自然放出光の偏光比を大きく取ることができ、注入電流が閾値の1/2のときにおいても、自然放出光の偏光比を10以上とすることができます。その結果、自然放出光のレーザー発振モードへの結合が大きくなり、戻り光の雑音を低減させることができます。なお、基板の面方位の傾斜角は、0.1°に限らず、0.05°以上0.2°未満であればよい。

【0108】図11は、本発明の半導体レーザー素子のさらに他の例を示す窒化ガリウム系半導体レーザー素子の構成を示す断面図である。この半導体レーザー素子は、GaN基板201の(0001)面である基板面201a上に、20nm程度の厚さのGaNバッファ層202が積層されて、4μm程度の厚さのn型GaNコンタクト層203が積層されている。そして、n型GaNコンタクト層203上に、0.5μm程度の厚さのA1Ga...Nクラッド層204、0.1μm程度の厚さのGaN光ガイド層205が、順次、積層されている。

【0109】GaN光ガイド層205上には、約5nmの厚さのn型In...Ga...N遮蔽層、平均厚さが約3nmのn型In...Ga...N井戸層、約5nmの厚さのn型In...Ga...N遮蔽層が順次積層されたn型InGaN量子井戸活性層206が設けられている。量子井戸活性層206には、厚さ30nm程度のp型A1GaN昇華防止層207、厚さが0.1μm程度のp型GaN光ガイド層208、0.5μm程度の厚さのA1Ga...Nクラッド層209、厚さが0.5μm程度のp型GaNコンタクト層210が順次積層されてい

る。

【0110】量子井戸活性層206は、GaN基板201における基板面201aにほぼ平行な方向に沿って、InN高混晶比領域と、InN低混晶比領域とが設けられている。InN高混晶比領域は、1nm以上100nm以下の長さにわたっており、活性層14内におけるその密度は、1×10<sup>11</sup>個/cm<sup>3</sup>以上になっている。

【0111】p型GaNコンタクト層210上には、そのコンタクト層210の上面の一部が露出するように、絶縁膜211がほぼ全域にわたって設けられている。絶縁層211から露出したp型GaNコンタクト層210の上面には、正電極213が設けられており、また、GaN基板203の裏面に負電極212が設けられている。

【0112】このような半導体レーザー素子も、図10に示す半導体レーザー素子における半導体層の結晶成長と同様にして、半導体層の結晶が成長される。従って、量子井戸活性層206の結晶成長に際して、井戸層の結晶成長の前後にわたって、結晶成長の中断時間が設けられる。そして、半導体層の結晶成長が終了した後に、フォトリソグラフィー技術を用いて、p型GaNコンタクト層210の上面に、正電極213が接触する部分を除いて絶縁膜211が形成される。その後、絶縁膜211から露出したp型GaNコンタクト層210の上面に、正電極213が設けられると共に、GaN基板201の裏面に負電極212が設けられて、図11に示す半導体レーザー素子とされる。

【0113】このような構成の半導体レーザー素子の活性層206は、図10の半導体レーザー素子活性層106と全く同じであり、発振閾値の1/2に相当する注入電流によって素子を駆動し、端面からの自然放出光を観測したところ、端面から出射した自然放出光のTE偏光比は、半導体結晶の成長中における成長の中断時間に依存しており、その依存性は、図4に示すグラフと同様である。また、前記自然放出光のTE偏光比と、活性層106における井戸層のInN高混晶比領域の面内密度およびサイズの関係も、図6に示すグラフと同様である。

【0114】図11に示す半導体レーザー素子においても、半導体層の成長中における結晶成長の中断時間を、図4に示すグラフに基づいて、1秒以上300秒以下とされる。各井戸層の前後における結晶成長の中断時間としては、5秒以上200秒以下が望ましく、さらに、10秒以上80秒以下が望ましい。このようにして製造される半導体レーザー素子は、注入電流が閾値の1/2のときにおいて、端面から出射した自然放出光は基板面に對しほぼ平行方向に偏光する。なお、発振ピーク波長は410nmである。

【0115】また、光学顕微鏡による発光パターン測定、TEM解析の結果およびEPMA解析の結果は、図10に示す半導体レーザー素子と同様であった。

【0116】本実施の形態における半導体レーザー素子も、閾値電流以上で駆動（レーザー発振）させたところ、TEモードで発振し、発振スペクトルは継多モードを生じ易かった。これは、上記量子井戸活性層206に生じる自然放出光が基板面に対しほば平行方向に偏光しているために、自然放出光がレーザー発振モードへ容易に移行し得るようになっており、自然放出光が偏光していない場合に比べて、自然放出光係数 $\beta_{\text{ss}}$ が大きいことによる。

【0117】本実施の形態における半導体レーザー素子は、コヒーレント長（可干渉距離）が短いために、光ディスク等の光学式情報再生装置の光源に使用すると、戻り光の雑音を低減させることができる。

【0118】このような構成の半導体レーザー素子では、GaN基板201を使用していることにより、負電極201をGaN基板201の裏面に設けることができる。従って、負電極201を設けるための特別な領域を、半導体層上に形成する必要がなく、その結果、素子全体を小型化することができる。本実施の形態では、素子は、 $400\text{ }\mu\text{m} \times 200\text{ }\mu\text{m}$ の大きさである。

【0119】また、GaN基板201を使用していいるために、GaN基板201と半導体成長層との間に発生する格子歪を低減させることができ、従って、製造される半導体レーザー素子から発せられる光の波長のばらつき等を低減させることができる。その結果、半導体レーザー素子の製造の歩留まりが著しく向上する。

【0120】なお、図11に示す半導体レーザー素子において、GaN基板の基板面を、 $<0001>$ 方向から $<11-20>$ 方向に、 $0.1^\circ$ の傾斜角をつけて鏡面研磨した $(0001)$ 面としてもよい。図8に示す半導体発光素子において、基板面をこのようにすると、発光スペクトルのピーク波長が $470\text{ nm}$ であり、メサ側面から出射される光の偏光比が $10$ 以上になり、光取出し効率が大きく、高輝度な半導体発光素子が得られる。

【0121】また、図11に示す半導体レーザー素子において、基板の面方位を $0.1^\circ$ 傾斜させることにより、半導体レーザー素子の活性層で生じる自然放出光の偏光比を大きくとることができ、注入電流が閾値の $1/2$ のときにおいても、自然放出光の偏光比を $10$ 以上とすることができます。その結果、自然放出光のレーザー発振モードへの結合が大きくなり、戻り光の雑音を低減させることができる。なお、基板の面方位の傾斜角は、 $0.1^\circ$ に限らず、 $0.05^\circ$ 以上 $0.2^\circ$ 未満であればよい。

【0122】図12は、図2に示す半導体発光素子10を垂直な状態で保持するモールドケース120の一例を示す斜視図である。このモールドケース120は、上部中央に幅方向に沿った溝部128が設けられた直方体状の絶縁基体129を有している。絶縁基体129の溝部128は、幅方向に沿った水平な底面124と、底面の

各側縁からそれぞれ垂直に立ち上がった壁面125と、各壁面125の上側にそれぞれ連続して設けられた各傾斜面126とによって構成されている。各傾斜面127は、絶縁基体129の平坦な上面にそれぞれ連続している。

【0123】絶縁基体129の幅方向中央部、すなわち、溝部128の長手方向中央部には、一方の壁面125、傾斜面126、絶縁基体129の上面にわたって、スリット123が、絶縁基体129の幅方向に沿って垂直に設けられている。スリット123は、溝部128の内部に向かって開口している。

【0124】スリット123の一方の側方には、壁面125、傾斜面126、絶縁基体129の上面にわたって、スリット123に沿った配線121が設けられている。また、スリット123の他方の側方には、傾斜面126、壁面125にわたる配線122が、スリット123に沿って設けられている。この配線122は、溝部128の底面124に延出しておらず、他方の壁面125、傾斜面126、絶縁基体129の上面にわたって設けられている。

【0125】壁面125の高さは、 $20\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $500\text{ }\mu\text{m}$ 以下であり、装着される半導体発光素子の一辺の長さより僅かに小さいことが望ましく、特に、 $100\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $200\text{ }\mu\text{m}$ 以下が望ましい。また、スリット123の幅は $190\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、特に、 $100\text{ }\mu\text{m}$ 程度が好ましい。

【0126】図13(a)は、図7に示す半導体発光素子10をモールドケース120に装着した状態を示す平面図、図13(b)は、その断面図である。半導体発光素子10を装着する際には、まず、スリット123を挟んで壁面125上に設けられた各配線121および122にわたって、例えばハイソール社製の「モーフィットTG-9000R」等のように、液状の透光性エポキシ樹脂に数～数十重量%の導電性素粒子（粒径約 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下）を配合した異方導電樹脂接着剤127が塗布される。次に、異方導電樹脂接着剤127が塗布された壁面125に対して、半導体発光素子10が、サファイア基板11が平行になるように、しかも、配線121および122と正負の各電極パッドがそれぞれ対向するよう配置される。

【0127】このような状態になると、半導体発光素子10に対して、約 $2\sim20\text{ kg/cm}^2$ の荷重を壁面125に向かって加えつつ、異方導電樹脂接着剤127が硬化される。硬化条件は、異方導電樹脂接着剤127の種類により異なるが、本実施例では、 $150^\circ\text{C}$ にて2分～ $200^\circ\text{C}$ にて30秒程度とした。

【0128】この場合、正負の各電極パッドと壁面125上の配線121および122との間に、荷重を受けて硬化した異方導電樹脂接着剤127は、内部の導電性物質同士が相互に直接接触した状態になるために導

電状態となるが、配線121および122との間のスリット123内に位置する異方導電性樹脂接着剤127は、荷重を受けずに硬化するために、内部の導電性物質同士が接触することがほとんどなく樹脂中に分散した状態になっており、絶縁性が保持される。その結果、正負の各電極パッドと、各配線121および122とが、それぞれ導電状態になると共に、各電極パッド間は絶縁状態が保持された状態で半導体発光素子10がモールドケース120に装着される。

【0129】このようにモールドケース120に装着された半導体発光素子10は、基板に対して平行な方向に光が射出するために、底面124に対して垂直な方向に光を取り出すことができる。

【0130】なお、スリット123の深さは、使用する異方導電性樹脂接着剤127中に含まれる金属粉等の導電性物質の最大径を例えば5μmとすると、少なくとも5μm以上に設計する必要がある。

【0131】図14(a)は、図7に示す半導体光素子10を複数用いた本発明の液晶表示装置の要部断面図である。この液晶表示装置では、図12に示すモールドケース120がマトリクス状に配置されて一体化された構造のモールドケース130が使用される。従って、このモールドケース130は、それが平行になった複数の溝部128が、マトリクス状に配置されており、各溝部128は、それぞれ、図12に示す形状になっている。各溝部128内には、溝部128に沿って半導体発光素子10が、それぞれ、図12に示すように、異方性導電樹脂127によって取り付けられている。そして、図14(b)に示すように、溝部128に沿った各配線121同士および122同士が、相互に接続された状態になっている。

【0132】モールドケース130の上方には、各半導体発光素子10を覆うように、液晶板132が配置されている。液晶板132の両面には、透明電極131がそれぞれ設けられている。そして、液晶板132におけるモールドケース130の配置側とは反対側に、偏光子134が設けられている。

【0133】半導体発光素子10は、モールドケース130の各溝部128内に素子基板であるサファイア基板11が垂直になるように取り付けられており、半導体発光素子10の正負の各電極は、モールドケース130上に設けられた各配線板121および122に対して、異方性導電樹脂127を介して接続されている。

【0134】半導体発光素子10から発せられる光のほとんどは、サファイア基板11に平行して、液晶板132に向かって垂直方向に出射される。この場合、半導体発光素子10から出射される光は、サファイア基板11に平行な方向に偏光しているために、半導体発光素子10に対する電流量および発光電力を一定の状態として、液晶板132に印加されるする電圧をオンおよびオフと

することによって、偏光子133を通過する光を、それぞれ、オンおよびオフ制御することができる。

【0135】すなわち、液晶板132に電圧が印加されないオフ状態では、液晶板132を通過することによって光が偏光されるが、この場合の光の透過量が最大となるよう偏光子133の方向を設定しておけば、電圧を印加したオン時には、液晶板132を通過する光の偏光方向が変化して、偏光子133を通過する光量が減少することになる。これにより、偏光子133を通過する光をオンおよびオフ制御することができる。

【0136】このように、液晶板132における各半導体発光素子10に近接した表面には、偏光子を配置する必要がないために、液晶パネルを製造が容易になり、しかも、製造コストも削減することができる。また、各半導体発光素子10を、基板面がモールドケース130に対してほぼ垂直な状態になるように実装しているために、液晶パネルに対して1つの半導体発光素子10が占める面積を減少させることができる。その結果、液晶表示装置の表示を高精細化することができる。さらに、青色の発光源である窒化物系半導体発光素子において、側面からの出射光を偏光させることができるために、半導体発光素子を光源に用いたフルカラー液晶表示装置が実現可能になる。

【0137】図16は、本発明の半導体レーザ素子を使用した本発明の光学式情報再生装置の構成を示す概略図である。この光学式情報再生装置は、基台1001と、基台1001上に設置された、例えば図10または図11に示す半導体レーザ素子1002と、半導体レーザ素子1002から出射された光を平行光とするコリメータレンズ1003と、コリメータレンズ1003による平行光が照射されるビームスプリッタ1004と、ビームスプリッタ1004から出射される光を、光ディスク1006に集光する対物レンズ1005とを有している。また、ビームスプリッタ1004の側方には、光ディスク1006にて反射された光を集光するためのレンズ1007と、集光された光を検出する光検出器1008とが設けられている。

【0138】この光学式情報再生装置では、半導体レーザ素子1002から出射したレーザー光は、コリメータレンズ1003によって、平行光もしくは平行光に近い光に変換され、その後、ビームスプリッタ1004を透過して、対物レンズ1005により光ディスク1006の情報記録面に集光される。光ディスク1006の情報記録面には、凹凸もしくは磁気変調、あるいは屈折率変調によりビット情報が書き込まれている。光ディスク1006に集光されたレーザー光は、この情報記録面で反射されて、対物レンズ1005を通してビームスプリッタ1004によって分岐され、反射光を集光するためのレンズ1007によって光検出器1008に集光される。そして、光検出器1008によって、光学的に検出

された信号が電気的信号に変換されることにより、記録情報の読み取りが行われる。

【0139】このような構成の光学式情報再生装置においては、FFPのリップルが抑制された光学的特性の良好な半導体レーザー素子1002を用いているために、レーザー光が、対物レンズ1005により光ディスク1006の情報記録面に高解像に集光されている。

【0140】なお、半導体レーザー素子1002として、例えば、図10または図11の半導体レーザー素子を用いた図16に示す光学式情報再生装置においては、 $5\text{M}/\text{mm}^2$ もの高密度で記録された光ディスクから、ビット誤り率 $10^{-6}$ で、書き込まれた情報を読み出すことができた。これに対して、従来技術の半導体レーザー素子を図16に示す光学式情報再生装置の半導体レーザー素子1002として用いたところ、同様の条件のもとでのビット誤り率は $10^{-3}$ 程度であり、実用には適さなかった。

【0141】このように、高密度に記録された光ディスクから低誤り率で情報を読み出すことにより、本発明の光学式情報再生装置によれば、従来技術の光学式情報再生装置に比べて、雑音特性が大幅に向上去ることが確認された。

【0142】なお、上記各実施の形態において、活性層内の障壁層および井戸層の半導体として、InGaNを使用したが、このような半導体に限定されるものではなく、他の半導体を使用するようにしてもよい。例えば、波長 $450\text{~}600\text{nm}$ の光を発光する場合には、GaNAsが使用され、波長 $450\text{~}650\text{nm}$ の光を発光させる場合には、GaNPが使用される。また、各実施の形態において、GaNバッファ層を省略するようにしてもよい。

#### 【0143】

【発明の効果】本発明の半導体発光素子は、このように、量子井戸活性層の端面から外部に取り出される自然放出光が、基板面にほぼ平行方向に偏光しているために、光取り出し効率が著しく向上する。また、半導体レーザー素子では雑音特性が著しく向上する。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】(a)は、本発明の半導体発光素子の実施の形態の一例を示す平面図、(b)は、(a)のA-A線における断面図である。

【図2】その半導体発光素子を製造する際の原料供給のタイムチャートである。

【図3】図1に示す半導体発光素子におけるメサの側面から出射される光について、基板面に対してほぼ垂直方向に偏光した光の強度と、基板面にほぼ平行な方向に偏光した光の強度との割合に対する半導体発光素子の外部微分効率(%)を示すグラフである。

【図4】図1に示す半導体発光素子における量子井戸活性層内に含まれる最下層の障壁層の結晶成長直後の結晶

成長の中断時間と、半導体発光素子のメサ側面から出射する光のTE偏光比との関係を示すグラフである。

【図5】図1に示す構成の半導体発光素子を、傾斜角の異なる複数のサファイア基板を用いて製造した場合における各半導体発光素子のメサ側面から出射される光のTE偏光比と、サファイア基板の基板面の傾斜角との関係を示すグラフである。

【図6】図1に示す半導体発光素子におけるメサ側面から出射される光のTE偏光比に対する単一の量子井戸活性層中の井戸層内におけるInN高混晶比領域の面内密度、およびサイズの関係をそれぞれ示すグラフである。

【図7】(a)は、本発明の半導体発光素子の実施の形態の一例を示す模式的な平面図、(b)は、(a)のB-B線に沿った模式的な断面図である。

【図8】本発明の半導体発光素子の実施の形態のさらに他の例を示す断面図である。

【図9】その半導体発光素子におけるメサの側面から出射される光について、基板面に対してほぼ垂直方向に偏光した光の強度と、基板面にほぼ平行な方向に偏光した光の強度との割合に対する半導体発光素子の外部微分効率(%)を示すグラフである。

【図10】本発明の半導体発光素子である半導体レーザー素子の一例を示す断面図である。

【図11】本発明の半導体発光素子である半導体レーザー素子の他の例を示す断面図である。

【図12】図2に示す半導体発光素子を垂直な状態で保持するモールドケースの一例を示す斜視図である。

【図13】(a)は、そのモールドケースに半導体発光素子を実装した状態の平面図、(b)は、その断面図である。

【図14】(a)は、図7に示す半導体光素子を複数用いた液晶表示装置の要部断面図、(b)は、その要部の概略平面図である。

【図15】半導体発光素子の活性層の端面から外部に取り出される自然放出光の偏光方向を調べるための光学系を示す模式図である。

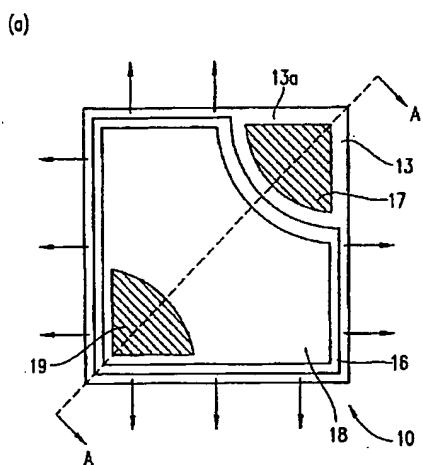
【図16】本発明の半導体レーザ素子を用いた光学式情報再生装置の構成を示す概略図である。

#### 【符号の説明】

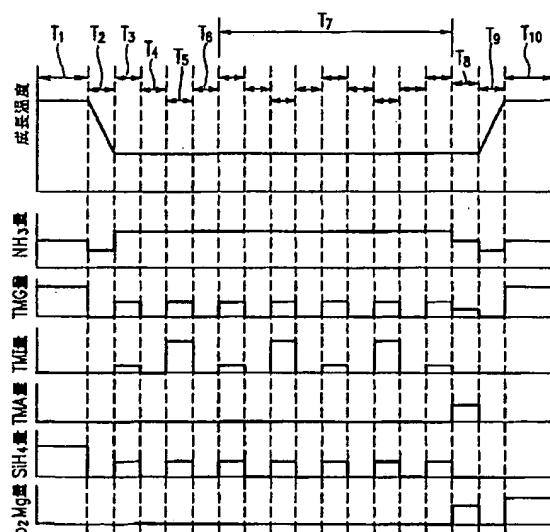
- 10 半導体発光素子
- 11 サファイア基板
- 11a 基板面上
- 12 GaNバッファ層12
- 13 n型GaNコンタクト層13
- 13a 電極面
- 14 n型InGaN量子井戸活性層
- 15 p型AlGaN昇華防止層
- 16 p型GaNコンタクト層
- 17 負電極
- 18 透光性正電極

## 19 正電極バッド

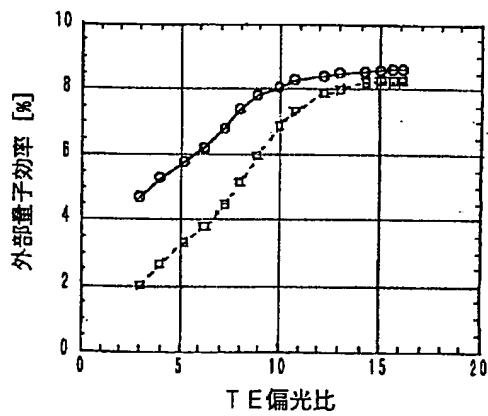
【図1】



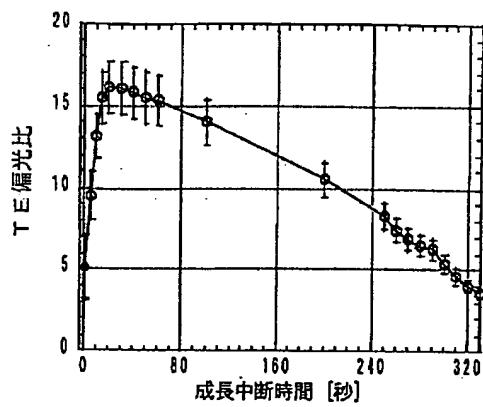
【図2】



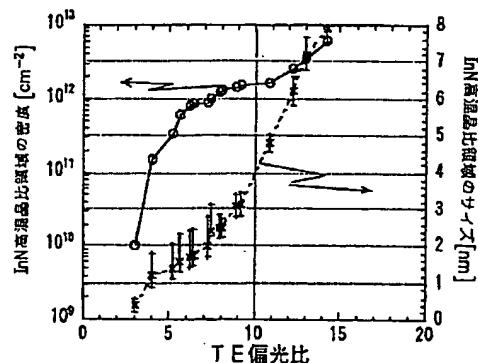
【図3】



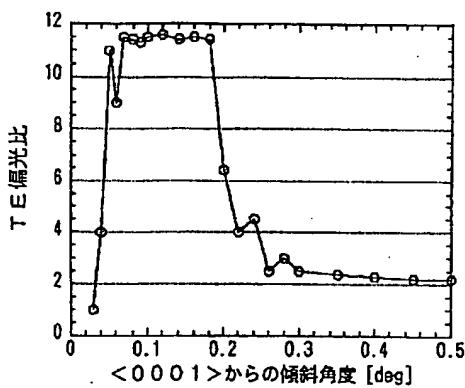
【図4】



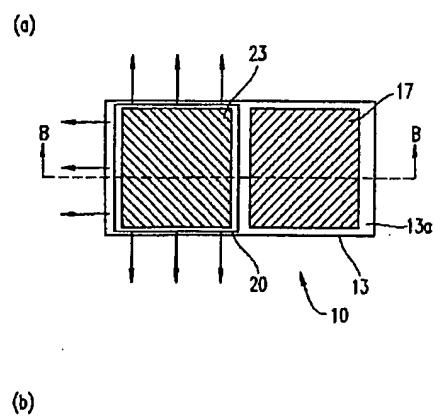
【図6】



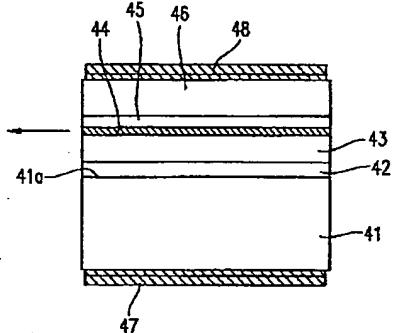
【図5】



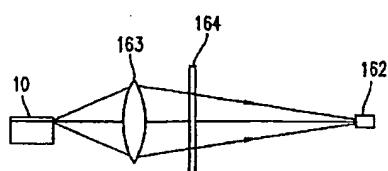
【図7】



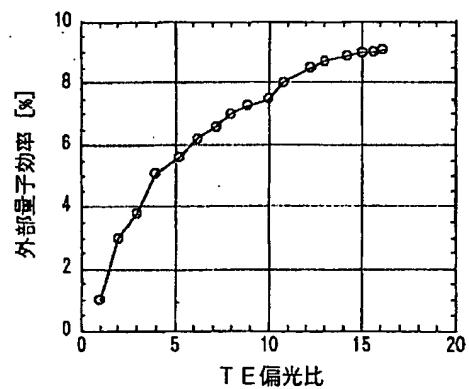
【図8】



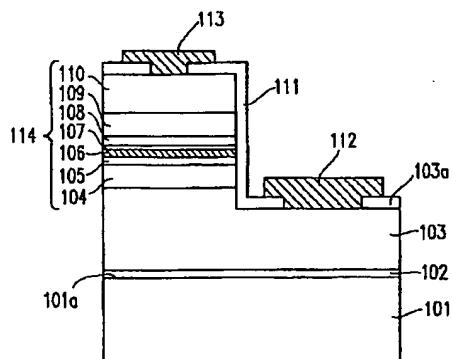
【図15】



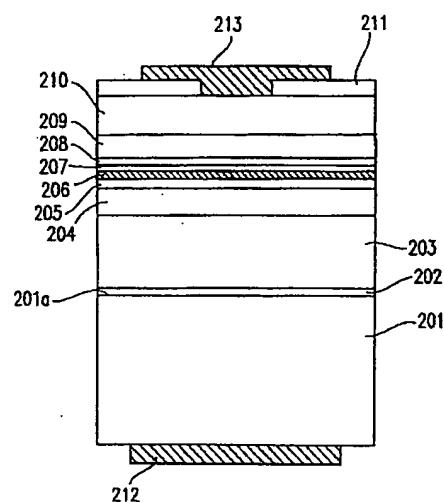
【図9】



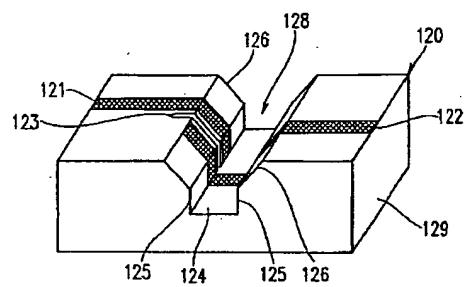
【図10】



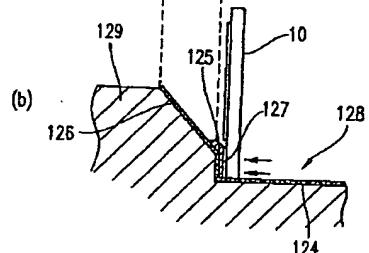
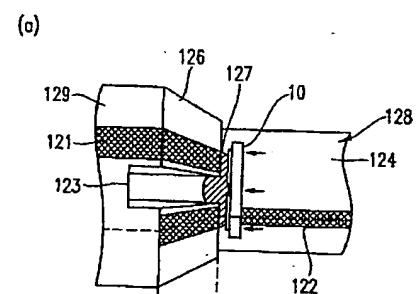
【図11】



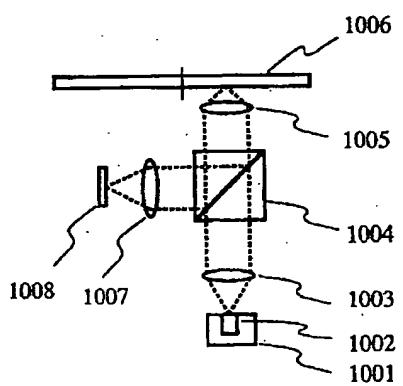
【図12】



【図13】

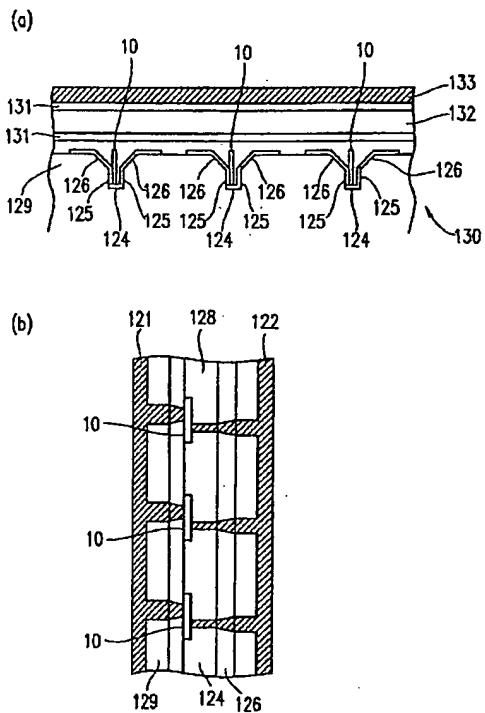


【図16】



BEST AVAILABLE COPY

[図14]



フロントページの続き

F ターム(参考) SD119 AA43 BA01 FA05 FA17 NA04  
 SF041 CA04 CA05 CA34 CA40 CA46  
 CA65 FF01 FF16  
 SF073 AA04 AA45 AA55 AA74 BA04  
 CA07 CB02 CB05 DA05 DA25  
 EA27 EA29